

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-302055

(P2000-302055A)

(43) 公開日 平成12年10月31日 (2000. 10. 31)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマート* (参考)

B 6 2 D 6/00

B 6 2 D 6/00

3 D 0 3 2

B 6 0 R 21/00

G 0 8 G 1/16

C 5 H 1 8 0

G 0 8 G 1/16

B 6 0 R 21/00

6 2 4 B

// B 6 2 D 113:00

6 2 4 C

137:00

6 2 4 F

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号

特願平11-112117

(22) 出願日

平成11年4月20日 (1999. 4. 20)

特許法第30条第1項適用申請有り 1998年10月15日 社団法人自動車技術会発行の「1998年秋季大会 学術講演会前刷集 No. 62-98」に発表

(71) 出願人 000005326

本田技研工業株式会社

東京都港区南青山二丁目1番1号

(72) 発明者 納富 信也

埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社
本田技術研究所内

(72) 発明者 堀内 伸一郎

東京都千代田区神田駿河台1-8 日本大
学理工学部内

(74) 代理人 100089266

弁理士 大島 陽一

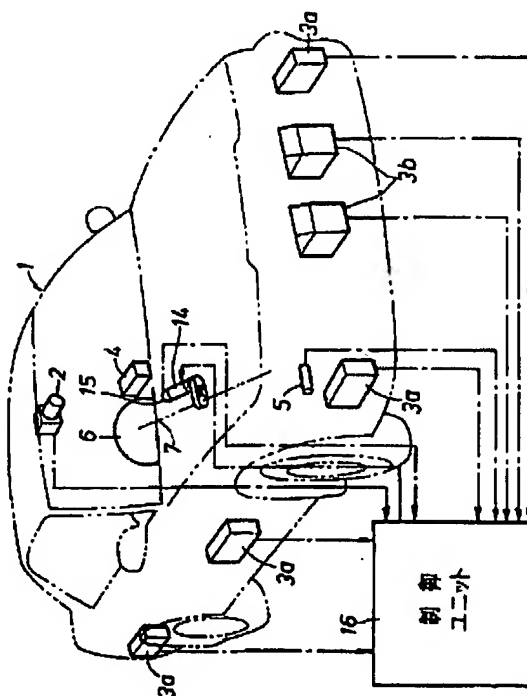
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 車線追従制御装置

(57) 【要約】

【課題】 比較的容易にかつ高精度に計測可能な情報のみを用いて達成し得る予見制御系の車線追従制御装置を提供する。

【解決手段】 先ず、例えばCCDカメラ2で得た画像データを処理することによって目標コースの予見情報を得て、これを確定外乱とみなし、前輪舵角指令値 δ_c を入力とし、目標コースからの車両の横方向変位量 y_e を出力とするDARMA (Deterministic Auto Regressive Moving Average) モデルを用いて車両モデル並びに目標コースモデルを表すものとする。次に、一般化予測制御 (GPC制御) 理論を拡張し、車両モデル並びに目標コースモデルにこれを適用して将来の確定外乱に対する車線追従誤差を補償するものとする。これにより、車両状態量推定器を不要とした上で、状態量フィードバック予見制御系と同等の性能を得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 走行中の道路形状を検出する道路形状検出手段と、走行するべき目標コースに対する横方向変位量の算出手段と、少なくとも過去・現在の実舵角を検出する舵角検出手段とを有する車線追従制御装置であって、過去・現在・将来の道路形状を基に将来の目標コースに対する横方向変位量を最適にするための現在舵角を、修正された一般化予測制御系により制御することを特徴とする車線追従制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、自動的に車線を追跡して車両を走行させるための車線追従制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、自動的に車線を追跡（トラッキング）して車両を走行させる技術が種々提案されている。従来提案されている車線追従制御則としては、次の2つの方式が知られている。

a. 車載カメラなどで現時点のコース情報を得ると共に車両状態量検出手段で現時点の車両状態量を得て、コースの曲率変化を未知外乱とみなし、コースセンターに対する自車位置の偏差および車両状態量をフィードバックして車線追従を達成するもの。

b. 車載カメラなどで目標コースの予見情報を得ると共に車両状態量検出手段で現時点の車両状態量を得て、目標コースに関する予見情報と現時点情報との間の偏差および車両状態量をフィードバックして車線追従を達成するもの。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかるに、前者（a）は、現時点のコース情報のみに依存するため、コースの曲率変化に追従させるための制御指令値の最適設定が困難であり、応答遅れやオーバーシュートのない円滑な走行を実現することは困難である。また後者（b）は、円滑な車線追従制御を実現するには有利である反面、直接的に実測できない値を含む全車両状態量のフィードバックが前提となっているため、車両状態量の推定を行うための高速演算器を要するなど、現実的な製造コストでの実用化は極めて困難である。

【0004】本発明は、このような従来技術の不都合に対処するべく案出されたものであり、その主な目的は、比較的容易にかつ高精度に計測可能な情報のみを用いて達成し得る予見制御系の車線追従制御装置を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】このような目的を果たすために、本発明においては、先ず、例えばCCDカメラ2で得た画像データを処理することによって目標コース

の予見情報を得て、これを確定外乱とみなし、前輪舵角指令値 δ_c を入力とし、目標コースからの車両の横方向変位量 y_e を出力とするDARMA (Deterministic Autoregressive Moving Average) モデルを用いて車両モデル並びに目標コースモデルを表すものとした。

【0006】次に、一般化予測制御（以下GPC制御と略称する）理論を拡張し、車両モデル並びに目標コースモデルにこれを適用して将来の確定外乱に対する車線追従誤差を補償するものとした。

【0007】これによれば、車両状態量推定器を不要とした上で、状態量フィードバック予見制御系と同等の性能を得ることができる。

【0008】

【発明の実施の形態】以下に添付の図面を参照して本発明について詳細に説明する。

【0009】図1は、本発明に基づく車線追従制御装置が適用された車両の全体的構成を示している。図1において、車両1の運転席の上部のルームミラー近傍には、車両前方の道路を単眼視し、その画像を処理することによって走行車線を抽出し、その画像データから車線内に於ける自車の位置並びに方向を判別するためのCCDカメラ2が取り付けられている。

【0010】車体の両側部には、自車の側方、特に後側方から接近する他車との相対位置および相対速度を検出するための複数のレーダー装置3aが設けられていると共に、車体中央部には、車両1の重心位置を通る垂直軸回りのヨーイング角速度を検出するためのヨーレイトセンサ4が設けられ、また車両1の駆動軸には、その回転数を計測して車速を求めるための車速センサ5が装着されている。そして、この車両1には、前方の障害物を検知するための前方レーダー装置3bが設けられている。

【0011】図2に併せて示すように、本発明が適用される操舵装置は、運転者が操舵するためのステアリングホイール6と、ステアリングホイール6に直結されたステアリング軸7と、ステアリング軸7の軸端に設けられたビニオン8と、これに噛合して該ビニオン8（即ちステアリングホイール6）の回転運動を直線運動に変換するためのラックギア9が設けられたラック軸10と、ラック軸10にタイロッド（図示せず）を介して連結されたナックルアーム11と、ナックルアーム11が固設されたハブキャリア（図示せず）に支持された前輪12とからなっている。また、本操舵装置のステアリング軸7には、操舵力を付加するものとしてコグドベルト13を介して操舵アクチュエータとしての電動機14の回転力が加えられるようになっている。なお、電動機14の軸端には、ステアリング軸7の回転角度（即ち舵角）を検出するために、公知形式のロータリーエンコーダ15が連結されている。

【0012】上記CCDカメラ2、各レーダー装置3a・3b、ヨーレイトセンサ4、車速センサ5、及びロー

タリーエンコーダ15の各信号は、付加操舵力設定手段としての制御ユニット16に入力され、電動機14の出力トルクを制御するための情報として用いられる。

【0013】前後速度 u を一定と仮定すると、横速度

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\bar{A}_1}{u} v - \left(u - \frac{\bar{A}_2}{u} \right) \gamma + \bar{B}_1 \delta_f \quad \dots (1)$$

$$\frac{dr}{dt} = \frac{\bar{A}_3}{u} v + \frac{\bar{A}_4}{u} \gamma + \bar{B}_2 \delta_f \quad \dots (2)$$

【0015】但し、前輪舵角 δ_f は、舵角指令値を δ_c とすると、1次遅れのアクチュエータダイナミクスを介して次式(3)で表されるものと仮定する。

【0016】

【数2】

$$\frac{d\delta_f}{dt} = -\bar{B}_3 \delta_f + \bar{B}_3 \delta_c \quad \dots (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{A}_1 &= -\frac{2(K_f + K_r)}{m}, & \bar{A}_2 &= -\frac{2(l_f K_f + l_r K_r)}{m} \\ \bar{A}_3 &= -\frac{2(l_f K_f + l_r K_r)}{I}, & \bar{A}_4 &= -\frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{I} \\ \bar{B}_1 &= \frac{2K_f}{m}, & \bar{B}_2 &= \frac{2l_f K_f}{I}, & \bar{B}_3 &= \frac{1}{T_f} \end{aligned} \quad \dots (4)$$

但し、 l_f : 前車軸～重心間距離、 l_r : 後車軸～重心間距離、 k_f : 前輪コーナリングパワー、 k_r : 後輪コーナリングパワーである。

【0019】CCDカメラの画像データ(ナビゲーションシステムの地図データ、あるいは道路に設けられた発信器からの電磁波信号などでも良い)から得た目標コースと車両の実進行方向との幾何学的な関係を図3に示す。図3において、基準方位に対する実車両進行方向角度 ψ 、目標コースの接線の基準方位に対する角度 ψ_r 、目標コースと車両の実進行方向との角度誤差 ψ_e 、目標コースからの横方向変位量 y_e 、および目標コースの曲率半径 R の幾何学的な関係は、次式(5)(6)(7)で与えられる。

【0020】

【数4】

$$\psi_e = \psi - \psi_r \quad \dots (5)$$

$$\gamma_e \approx \gamma - \frac{R}{u} \quad \dots (6)$$

$$v_e = \frac{dy_e}{dt} \approx v + u \psi_e \quad \dots (7)$$

γ 、ヨーレイト γ 、および前輪舵角 δ_f の関係は、次式(1)(2)に示す2自由度モデルで表される。

【0014】

【数1】

【0017】ここで車両パラメータから決まる係数である A_i 、 B_i は、操舵アクチュエータの時定数を T_f とすると、次式(4)のように表される。

【0018】

【数3】

但し、 γ_e : 実ヨーレイトと目標ヨーレイトとの偏差の微分値、 v_e : 横方向変位量の微分値である。

【0021】上式(5)～(7)から、次式(8)

(9)が得られる。

【0022】

【数5】

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d\gamma_e}{dt} \quad \dots (8)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv_e}{dt} - u \gamma_e \quad \dots (9)$$

【0023】これらの関係を式(1)～(3)に代入すると、次式(10)の状態方程式が得られる。但し、 ρ は目標コースの曲率を表す。

【0024】

【数6】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} y_e \\ v_e \\ \psi_e \\ \gamma_e \\ \delta_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{A}_1/u - \bar{A}_1 & \bar{A}_2/u & \bar{B}_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \bar{A}_3/u - \bar{A}_3 & \bar{A}_4/u & \bar{B}_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\bar{B}_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_e \\ v_e \\ \psi_e \\ \gamma_e \\ \delta_e \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \bar{B}_3 \end{bmatrix} \delta_s + \begin{bmatrix} 0 \\ \bar{A}_2 - u^2 \\ 0 \\ \bar{A}_4 \\ 0 \end{bmatrix} \rho \quad \dots (10)$$

【0025】以上の車両モデル並びにコースモデルにGPC理論を適用するために式(10)の連続時間状態方程式を、次式(11)の離散時間モデル(DARMAモデル)

ル)に変換する。

【0026】

【数7】

$$A(q^{-1})y_e(k) = B(q^{-1})\delta_e(k-1) + D(q^{-1})\rho(k-1) \quad \dots (11)$$

【0027】ここでkはk番目のサンプリング時点を表す。またA、B、Dは、時間遅れ演算子 q^{-1} によって記述される次式(12)(13)(14)のような多項式

である。

【0028】

【数8】

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_nq^{-n} \quad \dots (12)$$

$$B(q^{-1}) = b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_mq^{-m} \quad \dots (13)$$

$$C(q^{-1}) = d_0 + d_1q^{-1} + \dots + d_mq^{-m} \quad \dots (14)$$

【0029】但し、n、mは、それぞれ多項式の次数を表し、ここでは $n=5$ 、 $m=4$ となる。

グ時点で入手可能な予見情報である。

【0030】また、上記DARMAモデルにおいて、目標コースの曲率 ρ は、Mステップ先まで既知の確定外乱と見なせる。すなわち、 ρ の未来値である $\rho(k+1)$ 、 $l=1, 2, \dots, M$ は、k番目のサンプリング

【0031】制御系に積分特性を付加して定常状態における横方向変位量 y_e をゼロとするため、式(11)のDARMAモデルを次式(15)のように変形する。

【0032】

【数9】

$$\tilde{A}(q^{-1})y_e(k) = B(q^{-1})\Delta \delta_e(k-1) + D(q^{-1})\Delta \rho(k-1) \quad \dots (15)$$

但し、

$$\tilde{A}(q^{-1}) = \Delta A(q^{-1}) \quad \dots (16)$$

$$\Delta = 1 - q^{-1} \quad \dots (17)$$

である。

【0033】制御入力は、Mステップ先までの横方向変位量 y_e と舵角指令値の差分 $\Delta \delta_e$ との各自乗和によって計算される次式(18)で与えられる評価関数Jを最小にするように設計する。ここで λ は入力差分に対する重

みである。

【0034】

【数10】

$$J = \sum_{j=1}^M \{y_e^2(k+j) + \lambda \Delta \delta_e^2(k+j-1)\} \quad \dots (18)$$

【0035】上式(18)の評価関数Jを計算するために、k番目のサンプリング時点で得られる予見情報から未来の横方向変位量 $y_e(k+1)$ 、 $l=1, 2, \dots, M$ を予測する。これらは、式(15)のDARMAモ

デルを用い、以下のような予測器形式で表現される。

【0036】

【数11】

$$y_e(k+l) = G_l(q^{-1})y_e(k) + H_l^b(q^{-1})\Delta \delta_c(k+l-1) + H_l^d(q^{-1})\Delta p(k+l-1), \quad l \in \{1, 2, \dots, M\} \quad \dots (19)$$

但し、

$$\begin{aligned} H_l^b(q^{-1}) &= F_l(q^{-1})B(q^{-1}) \\ &= h_0^b + h_1^b q^{-1} + \dots + h_{l+m-1}^b q^{-(l+m-1)} \quad \dots (20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_l^d(q^{-1}) &= F_l(q^{-1})D(q^{-1}) \\ &= h_0^d + h_1^d q^{-1} + \dots + h_{l+m-1}^d q^{-(l+m-1)} \quad \dots (21) \end{aligned}$$

であり、

$$\begin{aligned} 1 &= F_l(q^{-1})\tilde{A}(q^{-1}) + q^{-l}G_l(q^{-1}) \\ l &\in \{1, 2, \dots, M\} \quad \dots (22) \end{aligned}$$

を満足する。

【0037】式(19)で表現された未来の横方向変位量 y_e は、既知信号および予見情報に依存する部分と、未知信号である未来の入力に依存する部分との2つの部分に分けることができる。本発明は、未来の目標コースの曲率である予見情報 $p(k+1)$ 、 $l=1, 2, \dots, M$ を、既知信号として取り扱っている。そしてこれらを用いると、次式(23)が得られる。

【0038】

$$\begin{aligned} y_e &= [y_e(k+1) y_e(k+2) \dots y_e(k+M)] \\ \Delta \overline{\delta}_c &= [\Delta \delta_c(k) \Delta \delta_c(k+1) \dots \Delta \delta_c(k+M-1)] \\ \overline{P} &= [p(k+1) p(k+2) \dots p(k+M)] \quad \dots (24) \end{aligned}$$

【0041】また、 $M \times M$ マトリクスは、次式(25)のように表される。

【0042】

【数14】

$$\overline{H} = \begin{bmatrix} h_0^b & 0 & \dots & 0 \\ h_1^b & h_0^b & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{M-1}^b & h_{M-2}^b & \dots & h_0^b \end{bmatrix} \quad \dots (25)$$

$$\begin{aligned} J &= y_e^T y_e + \lambda \overline{\Delta \delta}_c^T \Delta \overline{\delta}_c \\ &= (\overline{H} \Delta \overline{\delta}_c + \overline{P})^T (\overline{H} \Delta \overline{\delta}_c + \overline{P}) + \lambda \Delta \overline{\delta}_c^T \Delta \overline{\delta}_c \quad \dots (26) \end{aligned}$$

【0045】この評価関数 J が最小値をとる必要条件： $\partial J / \partial \Delta \delta_c = 0$ より、次式(27)が与えられる。

$$\Delta \overline{\delta}_c = -(\overline{H}^T \overline{H} + \lambda I)^{-1} \overline{H}^T \overline{P} \quad \dots (27)$$

【0047】ベクトル $\Delta \delta_c$ の最初の要素が $\Delta \delta_c(k)$ で

【数12】

$$y_e = \overline{H} \Delta \overline{\delta}_c + \overline{P} \quad \dots (23)$$

【0039】ここですべてのベクトルは $M \times 1$ であり、次式(24)のようになる。

【0040】

【数13】

【0043】以上の式から式(18)の評価関数 J は次式(26)のように書き直せる。

【0044】

【数15】

【0046】

【数16】

あるから、 k 番目のサンプリング時点の舵角指令値の差

分 $\Delta \delta c(k)$ は、次式(28)で与えられる。

【0048】

【数17】

$$\Delta \delta_c(k) = \bar{h}^T \bar{P} \quad \dots (28)$$

【0049】これより、k番目のサンプリング時点の舵角指令値 $\delta c(k)$ は、次式(29)となる。

【0050】

【数18】

$$\delta_c(k) = \delta_c(k-1) + \bar{h}^T \bar{P} \quad \dots (29)$$

【0051】次に、通常のLQ制御に定常横変位をゼロとするような積分動作を含ませたLQI制御と本発明の予見制御を行うGPC制御とのコンピュータシミュレーションによる比較結果について述べる。

【0052】GPC制御系並びにLQI制御系は、共に評価関数の重みによってその応答は大きく変化するの、先ず、与えられた目標コースに追従する際の最大舵角指令値がほぼ等しくなるように重みを調節して比較を行った結果を図4に示す。この図から分かるように、GPC制御系は目標コースの曲率が変化す前に操舵を開始しており、横方向変位量(定常トラッキング誤差)はゼロに抑えられていることから、滑らかに車線に追従していることが分かる。これに対し、LQI制御系は予見情報を用いないので、コース曲率が変化してから操舵を開始しており、横方向変位量が大きく、GPC制御系に比べて追従性が大きく低下していることが分かる。また、LQI制御系は横加速度の大きさもGPC制御系より大きく、乗り心地の面でもGPC制御系の方がより優れていると言える。

【0053】次に、横方向変位量がほぼ等しくなるようにLQI制御系の重みを調節した場合の比較を図5に示す。この場合は、LQI制御系の舵角指令値がインパルス的に変化し、これによって横加速度がステップ的に変化すると共に、ヨーレートが振動的になり、乗り心地の低下が顕著であることが分かる。

【0054】周波数領域によるGPC制御系の特性を明らかにするため、コースの曲率変化量を入力とし、横方向変位量を出力とする周波数応答特性のGPC制御系とLQI制御系との比較を図6に示す。この図から、特に低周波域においてLQI制御系よりGPC制御系の方が低ゲインであり、車線追従性能がより優れていることが分かる。

【0055】またコースの曲率変化量を入力とし、舵角指令値を出力とする周波数応答特性の比較を図7に示す。LQI制御系は殆どフラットなためにステップ状の

曲率変化に対して高周波の舵角指令を発生する傾向があるのに対して、GPC制御系は低周波の舵角指令によってスムーズな車線追従を達成し得るものと推定できる。

【0056】さらに、コースの曲率変化量を入力とし、横加速度値を出力とする周波数応答特性の比較を図8に示す。これによると、GPC制御系は特に高周波域での減衰が大きいので、曲率変動の大きな道路走行時や、曲率測定値に高周波ノイズが加わるような場合にも、乗り心地の悪化を防止し得るものと推定できる。

【0057】なお、制御指令値を前輪舵角から操舵反力トルクとすれば、車線追従制御のみならず、状況に応じて操舵力を可変させる運転操作支援システムへの応用が可能である。

【0058】

【発明の効果】このように本発明によれば、予見情報を用いる、つまりフィードバックループに積分特性を持たせることにより、全状態量フィードバックを用いたLQI制御系やFSLQ制御系と比較して、優れた車線追従性能と良好な乗り心地とを高次元で両立させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に基づく車線追従制御装置が適用された車両の全体的構成図

【図2】本発明が適用された操舵装置の概略図

【図3】目標コースと車両の実進行方向との幾何学的関係の説明図

【図4】与えられた目標コースに追従する際の最大舵角指令値がほぼ等しくなるように重みを調節した場合のGPC制御系とLQI制御系との特性比較線図

【図5】与えられた目標コースに追従する際の横方向変位量がほぼ等しくなるように重みを調節した場合のGPC制御系とLQI制御系との特性比較線図

【図6】コースの曲率変化を入力とし、横方向変位量を出力とするGPC制御系とLQI制御系との周波数応答特性の比較線図

【図7】コースの曲率変化を入力とし、舵角指令値を出力とするGPC制御系とLQI制御系との周波数応答特性の比較線図

【図8】コースの曲率変化を入力とし、横加速度を出力とするGPC制御系とLQI制御系との周波数応答特性の比較線図

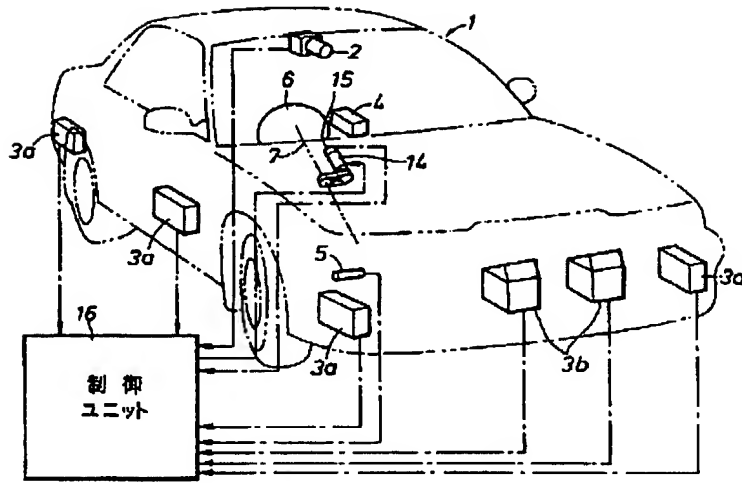
【符号の説明】

2 CCDカメラ

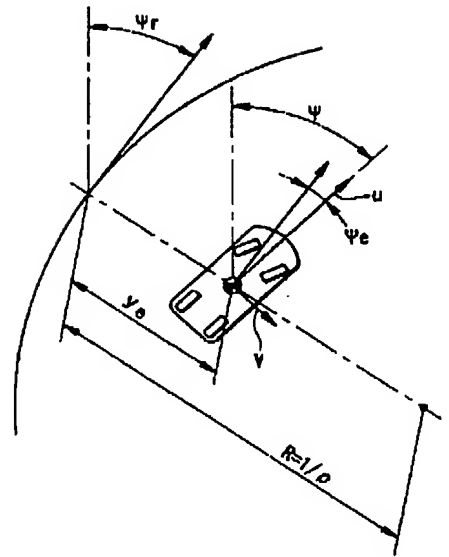
δc 前輪舵角指令値

ye 車両の横方向変位量

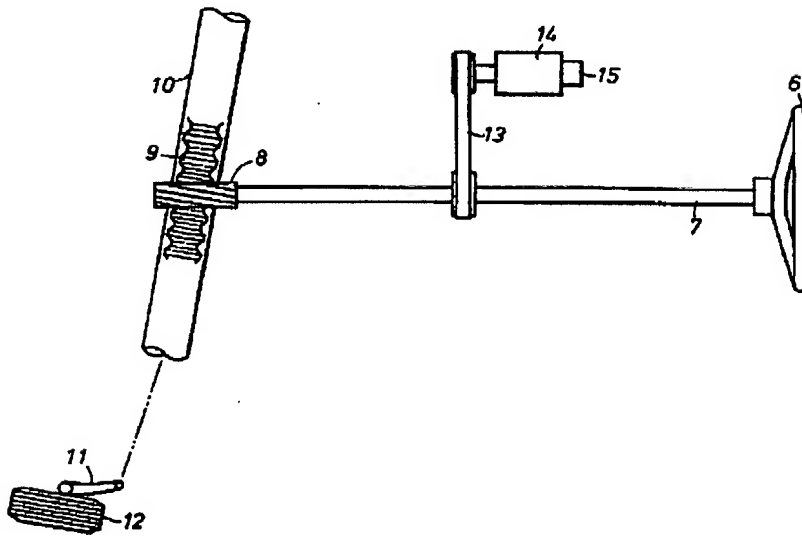
【図1】



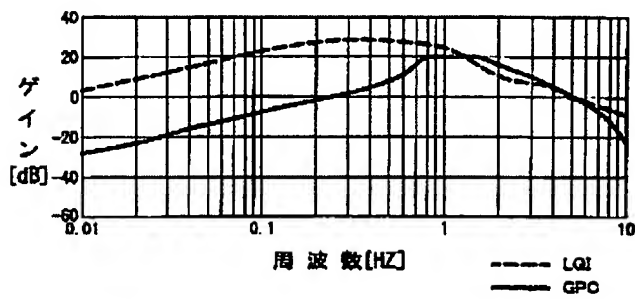
【図3】



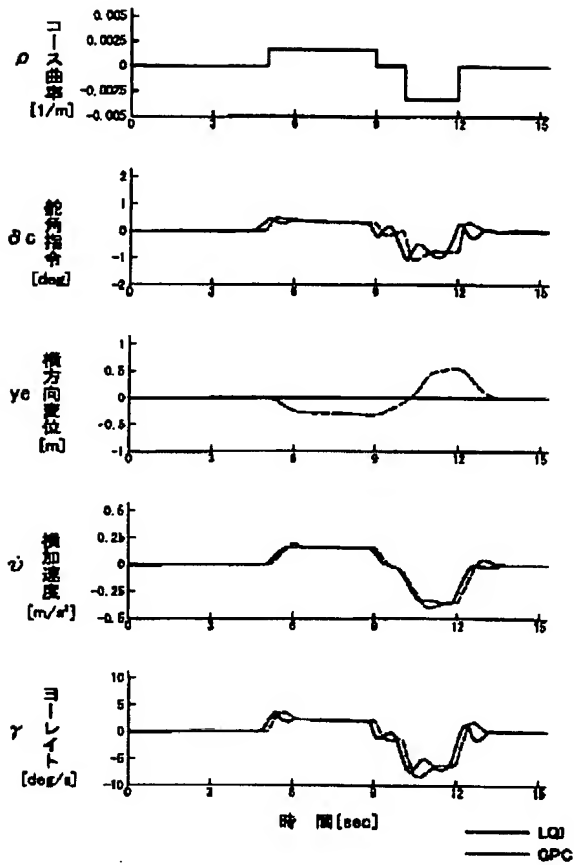
【図2】



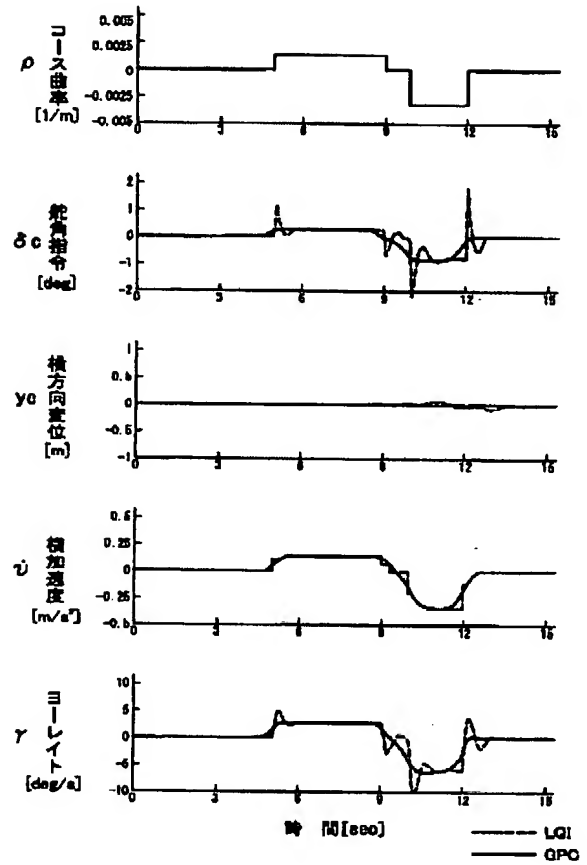
【図6】



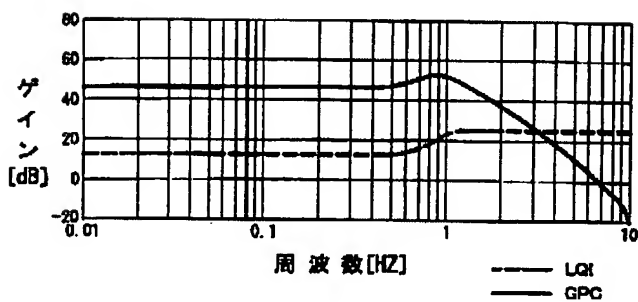
【図4】



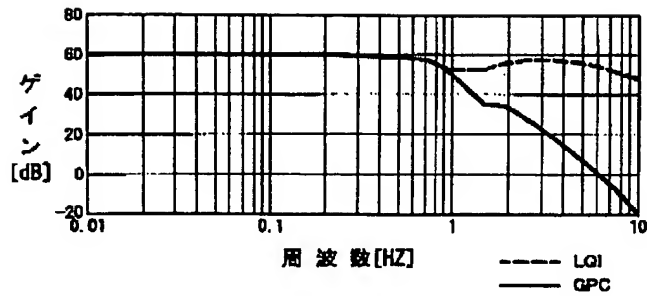
【図5】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3D032 CC20 DA03 DA27 DA28 DA29
 DA33 DA84 DA88 DC03 DC10
 DC38 DD02 DD06 DD08 DD20
 EA01 EB04 EB11 EC22 GG01
 5H180 AA01 BB04 CC04 CC12 CC14
 LL01 LL02 LL09